

**А. Т. Джайлани**

**Александрийский университет (г. Александрия, Египет)**

**Д. А. Немков, С. Е. Щеклеин, Ю. Е. Немихин**

**ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента**

**России Б. Н. Ельцина» (г. Екатеринбург, Россия)**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Солнечная радиация, падающая на ориентированную поверхность, складывается из прямой радиации от Солнца, диффузной – от неба и отраженной – от поверхности земли. Прямая солнечная радиация  $R_{dir}$ , являющаяся основным источником энергии для фотоэлектрических установок (ФЭУ), может быть вычислена по следующей формуле:

$$R_{dir} = R_{CH} \cos i, \quad (1)$$

где  $i$  – угол между нормалью к поверхности ФЭУ и направлением на Солнце;  
 $R_{CH}$  – измеренная солнечная радиация на перпендикулярную поверхность.

$$\cos i = \cos \alpha \cdot \sin h + \sin \alpha \cdot \cos h \cdot \cos A, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – угол наклона поверхности к горизонту;

$h$  – высота солнца;

$A$  – разность азимутов Солнца и проекции нормали к поверхности на горизонтальную плоскость [1].

По причине того, что солнце постоянно меняет свое положение на небосводе,  $\cos i$  постоянно изменяется, и, как следствие, изменяется величина прямой солнечной радиации, поступающей на ФЭУ. Следовательно, максимальная эффективность не может быть достигнута при жесткой фиксации конструкций ФЭУ. Одним из возможных решений проблемы является автоматическая ориентация ФЭУ на Солнце.

Коэффициент производительности  $PR$  является одним из наиболее важных показателей для оценки эффективности фотоэлектрических установок. В частности, коэффициент производительности представляет собой отношение фактической и теоретической мощности и зависит от ряда факторов, включая, как было упомянуто, ориентацию ФЭУ на солнце, сопротивление проводов, затенение, расположения приемной площадки, климата и еще нескольких механизмов потерь. Например, грязь и пыль способны блокировать солнечное излучение и уменьшать выработанную мощность до 70 %. Также имеются потери при преобразовании постоянного тока в переменный, хотя некоторые современные инверторы и имеют КПД до 98 %. Поэтому коэффициент производительности может быть использован для сравнения ФЭУ, размещенные в различных местах. В этой статье коэффициент производительности был рассчитан для фиксированной ФЭУ, которая размещена в УрФУ в г. Екатеринбурге, при слежении за солнцем.

ФЭУ, размещенная в Уральском федеральном университете (г. Екатеринбург), состоит из трех фотоэлектрических блоков общей мощностью 2760 Вт (900 Вт, 900 Вт и 960 Вт). Паспортные напряжение и ток холостого хода – 36 вольт и 50 ампер. Блок аккумуляторов состоит из двух батарей емкостью 100 А·ч. На рисунках 1, 2 представлены основные части системы. Все электрические характеристики фотоэлектрической системы регистрируются с помощью системы мониторинга, которая соединена с лабораторным компьютером [2].



Рис. 1. Экспериментальная ФЭУ в Екатеринбурге



Рис. 2. Схема экспериментальной ФЭУ в Екатеринбурге

Для расчета коэффициента производительности ФЭУ необходим ряд параметров. Эти параметры содержат информацию метеорологического характера (солнечная радиация), данные о которой поступают в систему мониторинга от метеостанции, а также характеристики фотоэлектрических модулей, которые представлены в паспорте.

Коэффициент PR может быть определен следующим образом [3, 4]:

$$PR = \frac{\text{Фактическая выработанная мощность, кВтч}}{\text{Максимальное расчетное значение выработанной мощности, кВтч}} \quad (3)$$

$$PR = \frac{E_{pv,AC}}{E_{pv,calc}} \quad (4)$$

Выработанную мощность ФЭУ можно определить следующим образом [5]:

$$P_{pv} = P_n \times f \times \left[ \frac{G_T}{G_{stc}} \right] \times [1 + \alpha(T_s - T_{stc})] \quad (5)$$

где:  $P_{pv}$  – выработанная мощность солнечной батареи (Вт);  
 $P_n$  – номинальная мощность солнечной батареи, то есть его мощность при стандартных условиях испытаний (Вт);  
 $f$  – коэффициента снижения выработки электроэнергии ФЭУ (%);  
 $G_T$  – реальная солнечная радиация на солнечной батарее (Вт/м<sup>2</sup>);  
 $G_{stc}$  – солнечная радиация при стандартных условиях (1000 Вт/м<sup>2</sup>);  
 $\alpha$  – температурный коэффициент мощности (%/°C);  
 $T_s$  – реальная температура солнечной батареи (°C);  
 $T_{stc}$  – температура при стандартных условиях испытаний (25 °C).

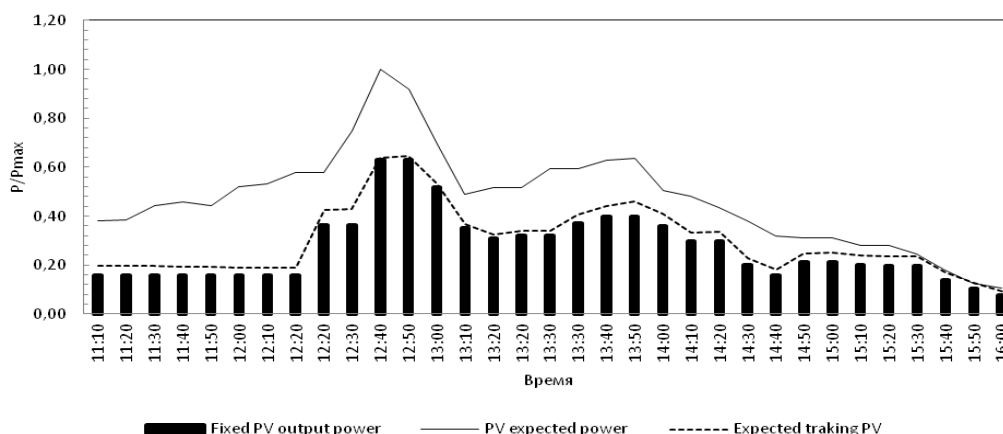


Рис. 3. Ожидаемая и фактическая мощность ФЭУ

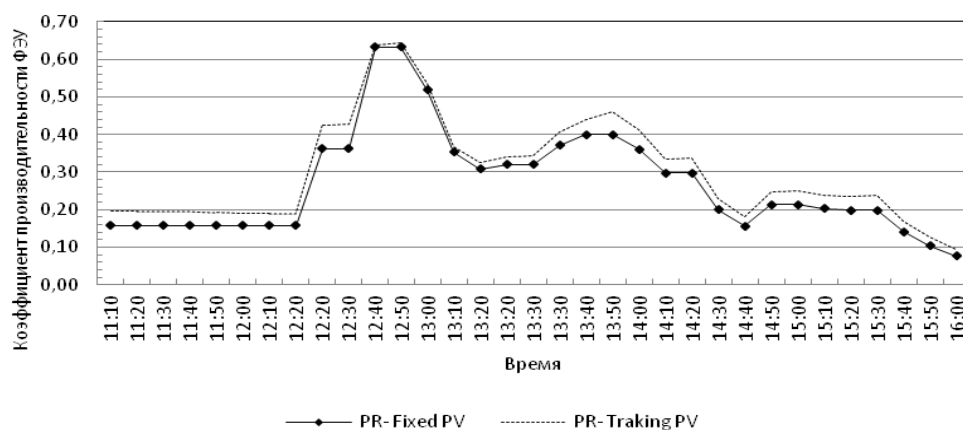


Рис. 4. Коэффициент производительности

Результаты на рисунках 3, 4, показали, что мощность для ФЭУ увеличилась в режиме слежения за солнцем. Коэффициент производительности для фиксированной ФЭУ в Екатеринбурге колеблется между 0,15 и 0,63, а для ФЭУ, слеящей за солнцем, – между 0,2 и 0,64. Таким образом, коэффициент производительности при использовании ФЭУ, слеящей за солнцем, выше на 25%.

На сегодняшний день существует множество различных способов автоматической ориентации ФЭУ на солнце. Большинство из них реагируют на отклонения солнечных батарей от направления на Солнце, используя видимый диапазон излучения Солнца, датчики тока с фотопреобразователям солнечных батарей, температурные датчики. Другими словами, подобные системы ориентируются на Солнце исходя из его непосредственного воздействия на органы слежения данных систем, что может повлечь за собой определенные трудности, связанные с атмосферными и климатическими условиями [6].

На кафедре атомных станций и возобновляемых источников энергии (далее кафедра АСиВИЭ) предлагается метод автоматической ориентации ФЭУ на Солнце, а именно ориентация ФЭУ по заранее заданным траекториям движения Солнца по небосводу. Используется следующее оборудование, позволяющие производить ориентацию ФЭУ на солнце: поворотное устройство азимутальное с элевацией «Радант AZ1000V» для спутниковых и параболических антенн (рис. 5) [7] и контроллер управления антенным поворотным устройством типа AZV (рис. 6) [8] производства. В контроллере управления антенным поворотным устройством реализована поддержка подключения к ПК с помощью последовательного порта. Управление от ПК производится по интерфейсу Yaesu GS-232 и собственными командами в составе разработки MS-232, обеспечивающими точность установки до  $0,1^\circ$ .



Рис. 5 Поворотное устройство азимутальное с элевацией «Радант AZ1000V» для спутниковых и параболических антенн



Рис. 6 Контроллер управления антенным поворотным устройством AZV

Протокол поддерживает следующий набор команд:

- команда Qaaa.a (-)eee.e<CR> устанавливает положение на угол азимута aaa.a и угол элевации eee.e; знак минуса ставится в случае, если значение угла элевации отрицательно;
- команда Y запрашивает текущее значение углов азимута и элевации;
- команда S немедленно останавливает установку [9].

Также на кафедре АСВиЭ было разработано программное обеспечение, позволяющее производить автоматическую ориентацию на солнце с помощью ПК. Программа считывает из файла особую последовательность из дат, временных интервалов и углов азимута и элевации, в которой заданы значения азимута и элевации для каждого момента времени. Последовательность составляется автоматически исходя из статистических данных о движении Солнца по небосводу. Далее программа запрашивает текущие значения углов азимута и элевации с установки и, в соответствии со считанной последовательностью, устанавливает такие углы азимута и элевации, которые соответствуют максимальной эффективности ФЭУ.

Применение подобных автоматических систем ориентации на солнце позволяет повысить коэффициент производительности при использовании ФЭУ следящей за солнцем на 25 %. Дальнейшими шагами на пути усовершенствования системы и ПО будут: поддержка нескольких поворотных устройств и синхронизации их вращения между собой, автоматизация генерации поворотной последовательности исходя из статистических данных о движении солнца и географического положения установки, создание общей базы мониторинга подобных систем для сбора статистических данных и их последующего анализа.

#### Список использованных источников

1. Кондратьев К. Я., Гидрометеорологическое издательство, 1965. 690 с.
2. Щеклеин С. Е., Немихин Ю. Е., Невьянцев С. В., Коржавин С. А. Комплекс дистанционного мониторинга установок возобновляемой энергетики с использованием Wi-Fi каналов и элементов технического зрения./ WIT Transactions on Ecology and The Environment. Volume 2. 2014. P. 1185–1194.
3. Cristian P. Chioncel et. al. Performance ratio of a photovoltaic plant. International journal of engineering. ISSN: 1584-2665. 2009.
4. Hofierka, J, and J. Kanuk. 2009. Assessment of photovoltaic potential in urban areas using open-source solar radiation tools. Renewable Energy (34): 2206-2214.
5. National Renewable Energy Laboratory NREL.CSI Incentive Calculator User Guide? URL: [redc.nrel.gov/solar/system.html](http://redc.nrel.gov/solar/system.html) (дата обращения 23.03.2015).
6. Моди В. Д., Шривастава С. К. Угловое движение и управление ориентацией спутников при наличии внешних моментов // Исследование космического пространства. Сер. 62. 1985. № 7. Реферат 7.62.184.
7. АПУ азимутальное с элевацией AZ1000V // ПОВОРОТКА.РФ: Поворотные устройства «Радант». URL: [поворотка.рф/povorotnoe\\_ustrojstvo\\_az1000v\\_maloe](http://поворотка.рф/povorotnoe_ustrojstvo_az1000v_maloe) (дата обращения 23.03.2015).
8. Контроллер управления АПУ AZV // ПОВОРОТКА.РФ: Поворотные устройства «Радант». URL: [поворотка.рф/kontrollery\\_upravleniya\\_dlya\\_povorotnyh\\_ustrojstv](http://поворотка.рф/kontrollery_upravleniya_dlya_povorotnyh_ustrojstv) (дата обращения 23.03.2015).
9. Протокол работы контроллера АПУ-1 // ПОВОРОТКА.РФ: Поворотные устройства «Радант». URL: [поворотка.рф/data/documents/Radant\\_Port\\_Exchange.txt](http://поворотка.рф/data/documents/Radant_Port_Exchange.txt) (дата обращения: 23.03.2015).